

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
4. August 2005 (04.08.2005)

PCT

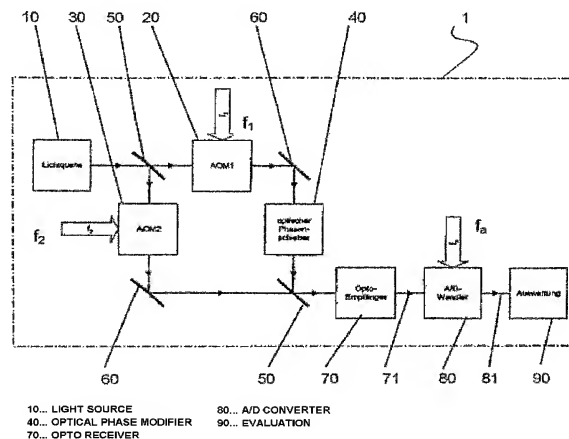
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/071844 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H03L 7/18**, (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).  
G01J 9/02
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/053438 (72) Erfinder; und
- (22) Internationales Anmeldedatum: 14. Dezember 2004 (14.12.2004) (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **STEINLECHNER, Siegbert** [DE/DE]; In Den Ziegelwiesen, 71229 Leonberg (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2004 004 004.4 27. Januar 2004 (27.01.2004) DE (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: TRIGGERING OF A HETERODYNE INTERFEROMETER

(54) Bezeichnung: ANSTEUERUNG FÜR EIN HETERODYN-INTERFEROMETER



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for triggering a heterodyne interferometer comprising two acousto-optical modulators that are disposed in separate light paths, a receiver which generates an analog signal, and an A/D converter that is mounted downstream thereof and converts the analog signal into a digital signal. One acousto-optical modulator is triggered at a modulation frequency  $f_1$  while the other acousto-optical modulator is triggered at a different modulation frequency  $f_2$ , the difference between the modulation frequencies  $f_1$  and  $f_2$  forming a heterodyne frequency  $f_{\text{Het}}$ . The analog signal is converted into the digital signal in the A/D converter at a sampling frequency  $f_a$ . Such a heterodyne interferometer allows a fixed ratio to be maintained between the modulation frequencies while preventing said frequencies from shifting towards each other due to aging and drift since at least two of the frequencies comprising the modulation frequencies  $f_1$ ,  $f_2$  and the sampling frequency  $f_a$  are formed from a fundamental frequency  $f_{\text{Quarz}}$  of a common oscillator. Furthermore, the inventive method allows the sampling frequency  $f_a$  to be at a fixed phase ratio to the differential frequency of the modulation frequencies  $f_1, f_2$ , i.e. the heterodyne frequency  $f_{\text{Het}}$ . The measuring accuracy is increased because sampling takes places at a constant phase regardless of drift and age.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ansteuern eines Heterodyn-Interferometers mit zwei in getrennten Lichtwegen angeordneten akustooptischen Modulatoren, einem Empfänger, welcher ein Analogsignal erzeugt, und einem nachgeschalteten A/D-Wandler, der das Analogsignal in ein Digitalsignal wandelt, bei dem der eine akustooptische Modulator mit einer Modulationsfrequenz  $f_1$  und der andere akustooptische Modulator mit einer anderen Modulationsfrequenz  $f_2$

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/071844 A1



CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

angesteuert werden, die Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  eine Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  bildet und die Umwandlung des Analogsignals in das Digitalsignal im A/D Wandler mit der Abtastfrequenz  $f_a$  erfolgt. Bei einem solchen Heterodyn-Interferometer wird ein festes Verhältnis der Modulationsfrequenzen eingehalten und diese können sich nicht durch Alterung und Drift gegeneinander verschieben, indem zumindest zwei der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und der Abtastfrequenz  $f_a$  aus einer Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  eines gemeinsamen Oszillators gebildet werden. Weiterhin kann hierdurch erreicht werden, dass die Abtastfrequenz  $f_e$  in einem festen Phasenverhältnis zur Differenzfrequenz der Modulationsfrequenzen  $f_1, f_2$ , der Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$ , steht. Die Messgenauigkeit wird erhöht, da die Abtastung unabhängig von Drift und Alterung bei konstanter Phase erfolgt.

5

10

Ansteuerung für ein Heterodyn-Interferometer

## 15 Stand der Technik

Die Erfindung betrifft Verfahren zum Ansteuern eines Heterodyn-Interferometers mit zwei in getrennten Lichtwegen angeordneten akustooptischen Modulatoren, einem Empfänger, welcher ein Analogsignal erzeugt, und einem nachgeschalteten A/D-  
20 Wandler, der das Analogsignal in ein Digitalsignal wandelt, bei dem der eine akustooptische Modulator mit einer Modulationsfrequenz  $f_1$  und der andere akustooptische Modulator mit einer anderen Modulationsfrequenz  $f_2$  angesteuert werden, die Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  eine Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  bildet und die Umwandlung des Analogsignals in das Digitalsignal im A/D-Wandler mit der  
25 Abtastfrequenz  $f_a$  erfolgt.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung aus einer Ansteuereinrichtung und einem Heterodyn-Interferometer mit zwei in getrennten Lichtwegen angeordneten akustooptischen Modulatoren, einem Empfänger, welcher ein Analogsignal liefert,  
30 und einem nachgeschalteten A/D-Wandler zur Bildung eines Digitalsignals aus dem Analogsignal, wobei der eine akustooptische Modulator mit einer Modulations-

frequenz  $f_1$  und der andere akustooptische Modulator mit einer anderen Modulationsfrequenz  $f_2$  angesteuert ist, und die Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  einer Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  entspricht und für die Umwandlung des Analogsignals in das Digitalsignal eine Abtastfrequenz  $f_a$  vorgesehen ist.

5

Heterodyn-Interferometer werden benutzt, um die durch einen optischen Phasenschieber verursachte Phasenverschiebung eines Lichtstrahls zu messen. Als optischer Phasenschieber kann beispielsweise die Länge einer optischen Umwegleitung fungieren, deren Länge zu messen ist. Heterodyn-Interferometer sind aus der Fachliteratur bereits hinreichend bekannt.

10

Bei einem Heterodyn-Interferometer wird der Strahl einer Lichtquelle, üblicherweise ein Laser, durch einen Strahlteiler auf zwei akustooptische Modulatoren geleitet. Die beiden akustooptische Modulatoren werden mit den Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ , die typischerweise im MHz-Bereich liegen, angesteuert. Dabei werden die Lichtstrahlen am Ausgang der akustooptischen Modulatoren um die entsprechende Frequenz gegenüber der Original-Lichtfrequenz verschoben.

15

Die beiden frequenzverschobenen Lichtstrahlen werden dann über Spiegel wieder einem Strahlteiler zugeführt und vereinigt, wobei einer der beiden Strahlen über einen optischen Phasenschieber verzögert wird. Dies kann durch Materialien geschehen, die die Phase des Lichts verschieben oder in denen die Lichtgeschwindigkeit des Lichts gegenüber Luft verringert ist. Eine weitere Ausführungsform kann vorsehen, dass durch weitere Spiegel das Licht umgelenkt wird und somit das Licht einen optischen Umweg laufen muss. Nachdem beide Lichtstrahlen durch den Strahlteiler, beispielsweise in Form eines halbdurchlässigen Spiegels, wieder vereinigt sind, wird das Licht einem Empfänger zugeführt, der einen Photodetektor und in der Regel einen Verstärker enthält.

20

25

Beide Lichtstrahlen interferieren und erzeugen im Empfänger eine Schwebungsfrequenz, die als Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  bezeichnet wird. Diese Frequenz berechnet sich nach

5 
$$f_{\text{Het}} = |f_1 - f_2|$$

Die Phase dieses Signals, bezogen auf die Phasenlage eines durch Mischung von  $f_1$  mit  $f_2$  gewonnenen elektrischen Signals der Frequenz  $f_{\text{Het}}$ , entspricht der Phasenverschiebung des optischen Phasenschiebers, die gemessen werden soll.

10

Das Analogsignal, welches am Ausgang des Empfängers zur Verfügung steht, wird einem nachfolgend angeordneten A/D-Wandler zugeführt, der ein Digitalsignal generiert. Die Umwandlung geschieht dabei mit einer Abtastrate der Frequenz  $f_a$ . Das Digitalsignal wird dann einer Auswerteeinheit zur Weiterverarbeitung zugeführt.

15

Bei den oben beschriebenen Heterodyn-Interferometern kann die Erzeugung der Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_a$  im Betrieb zu starken Schwankungen der Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}} = |f_1 - f_2|$  führen, da die Oszillatoren zum einen mit der Temperatur und zum anderen über die Alterung einen Frequenzdrift aufweisen können. Weiterhin ist

20 nachteilig, dass das die Austastfrequenz  $f_a$  zur Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  nicht in einem ganzzahligen Verhältnis steht und zudem nicht konstant ist.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Ansteuerung eines Heterodyn-Interferometer bereitzustellen, das diese Nachteile nicht aufweist. Es ist weiterhin

25

Aufgabe der Erfindung eine entsprechende Vorrichtung aus einer Ansteuereinrichtung eines Heterodyn-Interferometer bereitzustellen.

### Vorteile der Erfindung

Die das Verfahren betreffende Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, dass  
5 zumindest zwei der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und der  
Abtastfrequenz  $f_a$  aus einer Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  eines gemeinsamen Oszillators  
gebildet werden. Hierdurch kann erreicht werden, dass ein festes Verhältnis der  
Modulationsfrequenzen eingehalten wird und diese sich nicht durch Alterung und  
Drift gegeneinander verschieben. Weiterhin kann hierdurch erreicht werden, dass die  
10 Abtastfrequenz  $f_a$  in einem festen Phasenverhältnis zur Differenzfrequenz der  
Modulationsfrequenzen  $f_1, f_2$ , der Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$ , steht. Die Messgenauigkeit  
wird erhöht, da die Abtastung unabhängig von Drift und Alterung bei konstanter  
Phase erfolgt.

15 Werden die Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  aus der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  nach dem  
Verfahren der direkten digitalen Synthese (DDS) generiert, indem ein digitaler  
Akkumulator der Wortbreite  $N$  pro Taktimpuls des als Quarzoszillator mit der  
Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  ausgebildeten Oszillators um eine ganze Zahl  $Z$  inkrementiert  
wird, kann die Bereitstellung der Signale kostengünstig rein digital erfolgen. Zudem  
20 können die Modulationsfrequenzen hiermit frei programmiert werden.

Werden die Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  getrennt in separaten DDS-Einheiten  
aus der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  generiert, können kommerziell erhältliche kosten-  
günstige integrierte Schaltungen verwendet werden.

25 Eine besonders einfach zu realisierende Ausführungsform mit linearem Phasen-  
verlauf sieht vor, dass durch das Inkrementieren des digitalen Akkumulators ein  
sägezahnförmiger Werteverlauf seines Inhaltes gebildet wird.

30 Eine für die Modulation der akustooptischen Modulatoren besonders geeignete reine  
sinusförmige Ansteuerung wird dadurch erreicht, dass der Werteverlauf im digitalen

Akkumulator als Phasenwert einer Kosinus-Schwingung interpretiert wird, dass über eine in einem ROM abgelegte Tabelle und/oder algorithmische Verfahren aus dem Phasenwert ein Abtastwert einer Kosinus-Schwingung ermittelt wird und diese in einem analogen Tiefpassfilter geglättet wird.

5

Ein vereinfachter Schaltungsaufbau sieht vor, dass die Abtastfrequenz  $f_a$  für den A/D-Wandler durch eine Teiler-Einheit aus der Modulationsfrequenz  $f_1$  gebildet wird, oder dass die Abtastfrequenz  $f_a$  für den A/D-Wandler durch eine Teiler-Einheit aus der Modulationsfrequenz  $f_2$  gebildet wird, wodurch ein weiterer Oszillator eingespart werden kann.

10

Beträgt die Abtastfrequenz  $f_a$  ein ganzzahliges Vielfaches der Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$ , wird eine Verbesserung der Messgenauigkeit erreicht.

15 Bildet das Verhältnis zwischen der Abtastfrequenz  $f_a$  und der Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  mindestens den Faktor 2, wird eine gute Messgenauigkeit bei geringem Schaltungsaufwand erzielt.

20

Die die Vorrichtung betreffende Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, dass die Ansteuereinrichtung für die Erzeugung zumindest zweier der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und der Abtastfrequenz  $f_a$  einen gemeinsamen Oszillator mit der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  aufweist. Hierdurch wird mit geringem Schaltungsaufwand eine von Drift und Bauteilalterung unabhängige Messgenauigkeit erreicht.

25

Eine bevorzugte Ausführungsform sieht vor, dass für die Erzeugung der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  aus der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  ein direkter digitaler Synthesizer (DDS) vorgesehen ist, der einen digitalen Akkumulator der Wortbreite  $N$  aufweist, welcher pro Takteinheit des als Quarzoszillator ausgebildeten Oszillators (100) mit einer Taktfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  mittels einer Inkrementierstufe um eine ganze Zahl  $Z$

30

inkrementierbar ist. Hierdurch können die Signale kostengünstig auf digitalem Weg erzeugt und frei programmiert werden.

Werden für die Erzeugung der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  getrennte DDS-  
5 Einheiten vorgesehen, können kostengünstige kommerziell erhältliche Bauteile eingesetzt werden.

Eine vereinfachte Schaltungsausführung sieht vor, dass eine Teiler-Einheit zur  
Erzeugung der Abtastfrequenz  $f_a$  aus der Modulationsfrequenz  $f_1$  vorhanden ist oder  
10 dass eine Teiler-Einheit zur Erzeugung der Abtastfrequenz  $f_a$  aus der Modulations-  
frequenz  $f_2$  vorhanden ist.

Eine bevorzugte Ausführung sieht vor, dass das Teilungsverhältnis der Teiler-Einheit  
ganzzahlig ist. Hierdurch wird eine besonders gute Messgenauigkeit erzielt.

15

Eine einfache Ausführung mit guter Messgenauigkeit sieht vor, dass das  
Teilungsverhältnis der Teiler-Einheit mindestens 2 beträgt.

## Zeichnungen

20

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 schematisch ein Heterodyn-Interferometer gemäß dem Stand der Technik;

Figur 2 schematisch eine Oszillator-Anordnung für ein Heterodyn-Interferometer;

25 Figur 3 schematisch eine andere Ausführungsform für eine Oszillator-Anordnung.

## Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Fig. 1 zeigt schematisch ein Heterodyn-Interferometer 1, wie es aus dem Stand der  
30 Technik bekannt ist.



- 7 -

Der Strahl einer Lichtquelle 10 wird durch einen Strahlteiler 50 auf zwei akustooptische Modulatoren 20, 30, in der Figur mit AOM1 und AOM2 bezeichnet, geleitet. Die beiden akustooptischen Modulatoren 20, 30 werden mit den Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ , die typischerweise im MHz-Bereich liegen, angesteuert. Dabei werden die Lichtstrahlen am Ausgang der akustooptischen Modulatoren 20, 30 um die entsprechende Frequenz gegenüber der Original-Lichtfrequenz verschoben. Als Lichtquelle 10 wird vorzugsweise ein Laser mit langer Kohärenzlänge verwendet. Die beiden frequenzverschobenen Lichtstrahlen werden dann über Spiegel 60 wieder einem Strahlteiler 50 zugeführt und vereinigt, wobei einer der beiden Strahlen über einen optischen Phasenschieber 40 verzögert wird. Dies kann durch Materialien geschehen, die die Phase des Lichts verschieben oder in denen die Lichtgeschwindigkeit des Lichts gegenüber Luft verringert ist. Eine weitere Ausführungsform kann vorsehen, dass durch weitere Spiegel das Licht umgelenkt wird und somit das Licht einen optischen Umweg laufen muss. Nachdem beide Lichtstrahlen durch den Strahlteiler 50, beispielsweise in Form eines halbdurchlässigen Spiegels, wieder vereinigt sind, wird das Licht einem Empfänger 70 zugeführt. Der Empfänger 70 ist durch einen Photodetektor ausgebildet, dem ein Verstärker nachgeschaltet ist, der ein Analogsignal 71 liefert. Der Verstärker kann im Empfänger 70 integriert sein.

Beide Lichtstrahlen interferieren und erzeugen im Empfänger 70 eine Schwebungsfrequenz, die als Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  bezeichnet wird. Diese Frequenz berechnet sich nach

$$f_{\text{Het}} = |f_1 - f_2|$$

Die Phase dieses Signals, bezogen auf die Phasenlage eines durch Mischung von  $f_1$  mit  $f_2$  gewonnenen elektrischen Signals der Frequenz  $f_{\text{Het}}$ , entspricht der Phasenverschiebung des optischen Phasenschiebers 40, die gemessen werden soll.

Das Analogsignal 71, welches am Ausgang des Empfängers 70 zur Verfügung steht, wird einem nachfolgend angeordneten A/D-Wandler 80 zugeführt, der ein Digital-

signal 81 generiert. Die Umwandlung geschieht dabei mit einer Abtastrate der Frequenz  $f_a$ . Das Digitalsignal 81 wird dann einer Auswerteeinheit 90 zur Weiterverarbeitung zugeführt.

- 5 Dem Stand der Technik entsprechend, werden die Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_a$  aus getrennten Quarzoszillatoren gewonnen, was die oben genannten Nachteile hinsichtlich der Stabilität der Frequenzverhältnisse zueinander aufweist.

10 Fig. 2 zeigt eine Oszillator-Anordnung für einen Heterodyn-Interferometer gemäß der Erfindung.

Zur Erzeugung der AOM-Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  wird das als direkte digitale Synthese bekannte DDS-Verfahren eingesetzt. Bei diesem Verfahren wird ein digitaler Akkumulator der Wortbreite N pro Taktimpuls eines als Quarzoszillator ausgebildeten Oszillators 100 mit der Taktfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  um eine ganze Zahl Z inkrementiert. Dabei läuft der Akkumulator durch das ständige Inkrementieren periodisch über. Der Werteverlauf im Akkumulator über die Zeit entspricht dabei einer Sägezahnfunktion mit dem Wertebereich 0 bis  $2^N - 1$  (N kann beispielsweise 32 sein). Die Werte im Akkumulator werden als Phasenwert

20

$$F = (2 \cdot \pi \cdot Z) / 2^N$$

einer Kosinus-Schwingung interpretiert. Über eine ROM-Tabelle und/oder über algorithmische Verfahren wird aus diesem Phasenwert ein Abtastwert  $\cos(F)$  der Kosinus-Schwingung geformt. Dieser Abtastwert wird über einen D/A-Wandler ausgegeben und analog tiefpassgefiltert, wodurch sich ein zeitkontinuierliches kosinusförmiges Analogsignal der Frequenz

25

$$f = f_{\text{Quarz}} \cdot Z / 2^N$$

30

ergibt.

- 9 -

An sich sind direkte digitale Synthesizer als integrierte Schaltung bekannt und bilden eine DDS-Einheit. Mit dieser integrierten Schaltung lassen sich mit einer Grundfrequenz per Programmierung kostengünstig hochgenaue Frequenz-

5 generatoren realisieren, die sich im Bereich von 0 bis ca. 1/3 der Grundfrequenz mit hoher Auflösung durchstimmen lassen.

Erfindungsgemäß werden die zwei AOM-Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  mittels zwei getrennten DDS-Einheiten 110, 120 erzeugt, wobei ein Inkrementwert  $Z_1$  für die

10 DDS-Einheit 110 und ein Inkrementwert  $Z_2$  für die DDS-Einheiten 120 vorgegeben wird. Kennzeichnend ist weiterhin, dass die Grundfrequenz für beide DDS-Einheiten 110, 120 mittels eines gemeinsamen Oszillators 100 gebildet wird.

Für die AOM-Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ , die Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  und die

15 Inkrementwerte  $Z_1$  und  $Z_2$  ergeben sich folgende Gleichungen:

$$f_1 = f_{\text{Quarz}} * Z_1 / 2^N$$

$$f_2 = f_{\text{Quarz}} * Z_2 / 2^N$$

$$f_{\text{Het}} = |f_1 - f_2| = f_{\text{Quarz}} * (|Z_1 - Z_2|) / 2^N$$

Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird die Abtastrate  $f_a$  des A/D-Wandlers 80 durch direkte Teilung der Frequenz  $f_1$  durch einen ganzzahligen Faktor  $N_1$  gewonnen. Dies

25 wird in einer beispielsweise integrierten Teilereinheit 130 realisiert.

Hinsichtlich der Genauigkeit der Abtastung beim A/D-Wandler 80 kann es vorteilhaft sein, wenn die Abtastrate  $f_a$  genau das k-fache der Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  beträgt, wobei k eine ganze Zahl ist.

- 10 -

Damit ergibt sich folgende Gleichung:

$$f_a = k * f_{\text{Het}} = f_1 / N_1$$

5 Für den Teilfaktor  $N_1$  ergibt sich demnach folgende Beziehung:

$$N_1 = \text{runden} \{f_1 / (k * f_{\text{Het}})\}$$

Da  $Z_1$  ein ganzzahliges Vielfaches von  $N_1 * k$  sein muss, ergibt sich für  $Z_1$  folgende

10 Beziehung:

$$Z_1 = k * N_1 * \text{runden} \{(2^N * f_1) / (k * N_1 * f_{\text{Quarz}})\}$$

Für  $Z_2$  gilt dann:

15

$$Z_2 = Z_1 * \{1 + 1 / (k * N_1)\}$$

In einem Ausführungsbeispiel werden folgende Werte gewählt:

20

$$f_{\text{Quarz}} = 120 \text{ MHz},$$

$$f_1 = \text{ca. } 34,9 \text{ MHz und } f_2 = \text{ca. } 35,1 \text{ MHz und damit } f_{\text{Het}} = \text{ca. } 0,2 \text{ MHz},$$

$$k = 4$$

Diese werden erreicht mit  $N = 32$  und  $N_1 = 44$  durch Wahl von

25

$$Z_1 = 1249119696 \text{ und } Z_2 = 1256216967$$

Es ergibt sich somit für:

30

$$f_1 = 34,9000011 \text{ MHz und } f_2 = 35,0982966 \text{ MHz},$$

$$f_{\text{Het}} = 0,1982955 \text{ MHz und } f_a = 0,7931818 \text{ MHz}$$

In Fig. 3 ist eine weitere Ausführungsform einer Oszillator-Anordnung für einen Heterodyn-Interferometer aufgezeigt. Im Unterschied zu der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform wird die Abtastfrequenz  $f_a$  mittels einer Teiler-Einheit 140 aus der

5 Frequenz  $f_2$  generiert. Es ergeben sich analog zum oben beschriebenen Ausführungsbeispiel folgende Gleichungen:

$$f_a = k * f_{\text{Het}} = f_2 / N_2$$

10  $N_2 = \text{runden} \{f_2 / (k * f_{\text{Het}})\}$

$$Z_2 = k * N_2 * \text{runden} \{(2^N * f_2) / (k * N_2 * f_{\text{Quarz}})\}$$

$$Z_1 = Z_2 * \{1 - 1 / (k * N_2)\}$$

15

In diesem Ausführungsbeispiel werden folgende Werte gewählt:

$$f_{\text{Quarz}} = 120 \text{ MHz},$$

$$f_1 = \text{ca. } 34,9 \text{ MHz und } f_2 = \text{ca. } 35,1 \text{ MHz und damit } f_{\text{Het}} = \text{ca. } 0,2 \text{ MHz},$$

20  $k = 4$

Diese werden erreicht mit  $N = 32$  und  $N_2 = 44$  durch Wahl von

$$Z_1 = 1249140025 \text{ und } Z_2 = 1256277968$$

25

Es ergibt sich somit:

$$f_1 = 34,9005691 \text{ MHz und } f_2 = 35,1000009 \text{ MHz},$$

$$f_{\text{Het}} = 0,1994318 \text{ MHz und } f_a = 0,7977273 \text{ MHz}$$

30

- 12 -

Insgesamt lassen sich mit den oben beschriebenen DDS-Einheiten kostengünstig entsprechende Frequenzen für Heterodyn-Interferometer realisieren, da hoch präzise Frequenzen generiert werden können, die eine besondere Frequenzstabilität ergeben, wie sie für bestimmte Messaufgaben von Vorteil sind.

5

10

## Ansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern eines Heterodyn-Interferometers (1) mit zwei in  
15 getrennten Lichtwegen angeordneten akustooptischen Modulatoren (20, 30),  
einem Empfänger (70), welcher ein Analogsignal (71) erzeugt, und einem  
nachgeschalteten A/D-Wandler (80), der das Analogsignal (71) in ein  
Digitalsignal (81) wandelt, bei dem der eine akustooptische Modulator (20)  
mit einer Modulationsfrequenz  $f_1$  und der andere akustooptische Modulator  
20 (30) mit einer anderen Modulationsfrequenz  $f_2$  angesteuert werden, die  
Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  eine Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$   
bildet und die Umwandlung des Analogsignals (71) in das Digitalsignal (81)  
im A/D-Wandler (80) mit der Abtastfrequenz  $f_a$  erfolgt,  
dadurch gekennzeichnet,  
25 dass zumindest zwei der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$   
und der Abtastfrequenz  $f_a$  aus einer Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  eines  
gemeinsamen Oszillators (100) gebildet werden.

- 14 -

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  aus der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  nach  
5 dem Verfahren der direkten digitalen Synthese (DDS) generiert werden,  
indem ein digitaler Akkumulator der Wortbreite N pro Taktimpuls des als  
Quarzoszillator mit der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  ausgebildeten Oszillators (100)  
um eine ganze Zahl Z inkrementiert wird .
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  getrennt in separaten DDS-  
Einheiten (110, 120) aus der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  generiert werden.
- 15 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass durch das Inkrementieren des digitalen Akkumulators ein  
sägezahnförmiger Werteverlauf seines Inhaltes gebildet wird.
- 20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Werteverlauf im digitalen Akkumulator als Phasenwert einer  
Kosinus-Schwingung interpretiert wird,  
über eine in einem ROM abgelegte Tabelle und/oder algorithmische  
25 Verfahren aus dem Phasenwert ein Abtastwert einer Kosinus-Schwingung  
ermittelt wird und  
diese in einem analogen Tiefpassfilter geglättet wird.



6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Abtastfrequenz  $f_a$  für den A/D-Wandler (80) durch eine Teiler-  
Einheit (130) aus der Modulationsfrequenz  $f_1$  gebildet wird, oder  
dass die Abtastfrequenz  $f_a$  für den A/D-Wandler (80) durch eine Teiler-  
Einheit (120) aus der Modulationsfrequenz  $f_2$  gebildet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Abtastfrequenz  $f_a$  ein ganzzahliges Vielfaches der  
Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  beträgt.
8. Verfahren nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Verhältnis zwischen der Abtastfrequenz  $f_a$  und der  
Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  mindestens den Faktor 2 bildet.
9. Vorrichtung aus einer Ansteuereinrichtung und einem Heterodyn-Inter-  
ferometer (1) mit zwei in getrennten Lichtwegen angeordneten akusto-  
optischen Modulatoren (20, 30), einem Empfänger (70), welcher ein Analog-  
signal (71) liefert, und einem nachgeschalteten A/D-Wandler (80) zur  
Bildung eines Digitalsignals (81) aus dem Analogsignal (71), wobei der eine  
akustooptische Modulator (20) mit einer Modulationsfrequenz  $f_1$  und der  
andere akustooptische Modulator (30) mit einer anderen Modulations-  
frequenz  $f_2$  angesteuert ist, und die Differenz der Modulationsfrequenzen  $f_1$   
und  $f_2$  einer Heterodynfrequenz  $f_{\text{Het}}$  entspricht und für die Umwandlung des  
Analogsignals (71) in das Digitalsignal (81) eine Abtastfrequenz  $f_a$   
vorgesehen ist,  
dadurch gekennzeichnet,

- 16 -

dass die Ansteuereinrichtung für die Erzeugung zumindest zweier der Frequenzen aus den Modulationsfrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und der Abtastfrequenz  $f_a$  einen gemeinsamen Oszillator (100) mit der Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  aufweist.

5        10. Vorrichtung nach Anspruch 9,  
          dadurch gekennzeichnet,  
          dass für die Erzeugung der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  aus der  
          Grundfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  ein direkter digitaler Synthesizer (DDS) vorgesehen ist,  
          der einen digitalen Akkumulator der Wortbreite N aufweist, welcher pro  
10        Takteinheit des als Quarzoszillator ausgebildeten Oszillators (100) mit einer  
          Taktfrequenz  $f_{\text{Quarz}}$  mittels einer Inkrementierstufe um eine ganze Zahl Z  
          inkrementierbar ist.

15        11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10,  
          dadurch gekennzeichnet,  
          dass für die Erzeugung der Modulationsfrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  getrennte DDS-  
          Einheiten (110, 120) vorgesehen sind.

20        12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,  
          dadurch gekennzeichnet,  
          dass eine Teiler-Einheit (130) zur Erzeugung der Abtastfrequenz  $f_a$  aus der  
          Modulationsfrequenz  $f_1$  vorhanden ist oder  
          dass eine Teiler-Einheit (140) zur Erzeugung der Abtastfrequenz  $f_a$  aus der  
          Modulationsfrequenz  $f_2$  vorhanden ist.

25        13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12,  
          dadurch gekennzeichnet,  
          dass das Teilungsverhältnis der Teiler-Einheit (130, 140) ganzzahlig ist.

- 17 -

14. Vorrichtung nach Anspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Teilungsverhältnis der Teiler-Einheit (130, 140) mindestens 2  
beträgt.

5

1 / 2

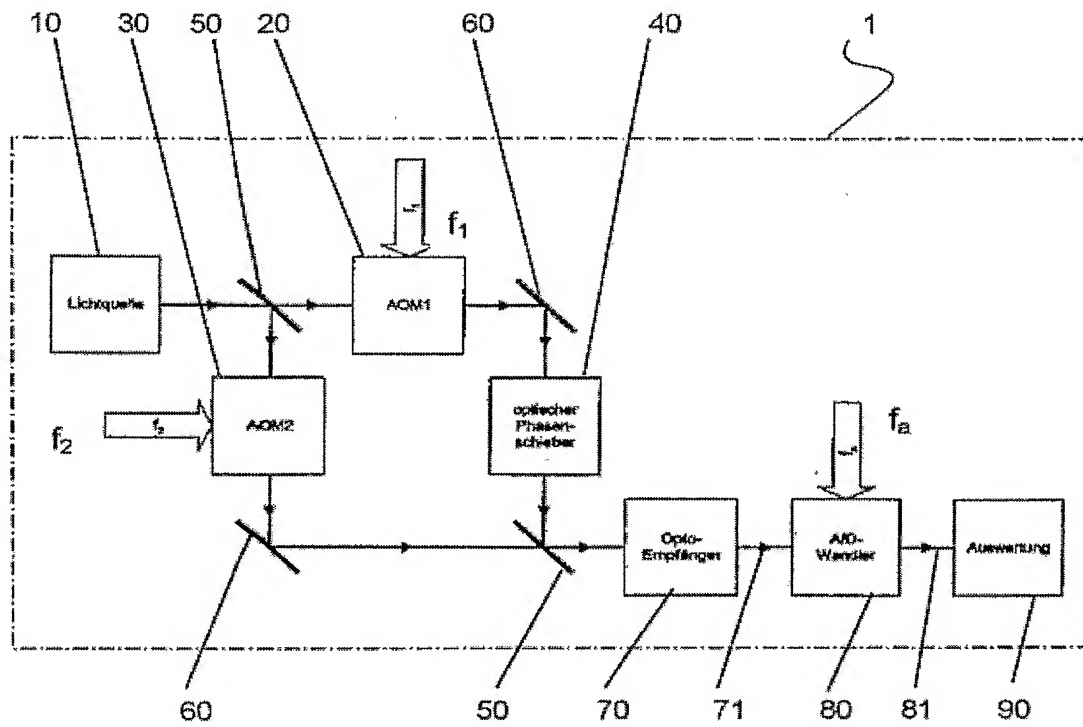


Fig. 1

2 / 2

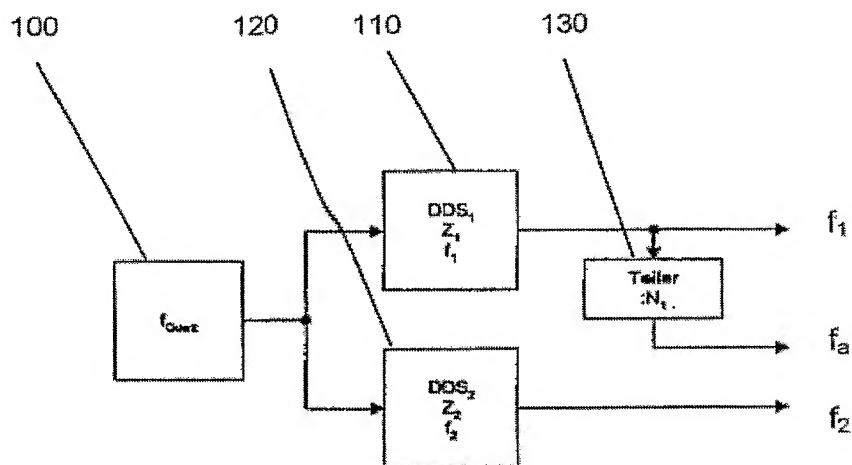


Fig. 2

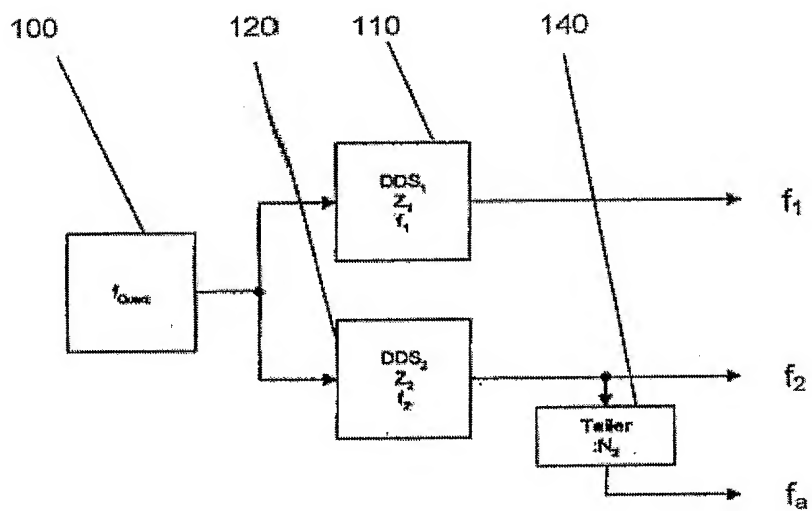


Fig. 3

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/053438

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 H03L7/18 G01J9/02		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H03L G01J H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/199115 A1 (MATTOX BARRY G) 23 October 2003 (2003-10-23) abstract paragraphs '0021! - '0033!, '0058! figures 1,2	1,7-9
Y		2-6, 10-14
Y	----- US 6 249 155 B1 (HARTMAN KENNETH D ET AL) 19 June 2001 (2001-06-19) abstract column 5, line 11 - column 6, line 60 figure 1 ----- -/--	2-6, 10-14
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.</span> </div>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>* Special categories of cited documents :</p> <p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>* &amp; * document member of the same patent family</p> </div> </div>		
Date of the actual completion of the international search  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">15 April 2005</div>		Date of mailing of the international search report  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">28/04/2005</div>
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  <div style="text-align: center; font-weight: bold;">Haller, M</div>

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/053438

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>WO 02/37684 A (SZ TESTSYSTEME AG; KRECKL, ANDREAS; FREY, MARTIN)  10 May 2002 (2002-05-10)  abstract  page 5, line 5 - page 6, line 18  figures 1,2</p> <p>-----</p>	<p>2-6,  10-14</p>

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/053438

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2003199115	A1	23-10-2003	US 2003021309	A1	30-01-2003
US 6249155	B1	19-06-2001	US 2001030556	A1	18-10-2001
WO 0237684	A	10-05-2002	WO 0237684	A1	10-05-2002



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/053438

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H03L7/18 G01J9/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H03L G01J H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/199115 A1 (MATTOX BARRY G) 23. Oktober 2003 (2003-10-23) Zusammenfassung Absätze '0021! - '0033!, '0058! Abbildungen 1,2	1,7-9
Y	-----	2-6, 10-14
Y	US 6 249 155 B1 (HARTMAN KENNETH D ET AL) 19. Juni 2001 (2001-06-19) Zusammenfassung Spalte 5, Zeile 11 - Spalte 6, Zeile 60 Abbildung 1 ----- -/--	2-6, 10-14

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besonders Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. April 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

28/04/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Haller, M

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/053438

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>WO 02/37684 A (SZ TESTSYSTEME AG; KRECKL, ANDREAS; FREY, MARTIN)  10. Mai 2002 (2002-05-10)  Zusammenfassung  Seite 5, Zeile 5 - Seite 6, Zeile 18  Abbildungen 1,2</p>	<p>2-6,  10-14</p>

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/053438

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2003199115	A1	23-10-2003	US 2003021309	A1	30-01-2003
US 6249155	B1	19-06-2001	US 2001030556	A1	18-10-2001
WO 0237684	A	10-05-2002	WO 0237684	A1	10-05-2002